

# Neue Batteriesysteme zwischen Forschung und Anwendung

Michael Danzer

ZSW, Ulm

Andreas Friedrich

DLR, Stuttgart

Matthias Vetter

Fraunhofer ISE, Freiburg

Patrick Hochloff

Fraunhofer IWES, Kassel

Clemens Hoffmann

Siemens AG, München und Fraunhofer IWES, Kassel

Martin Finsterbusch

FZJ, Jülich

Alexander Hirnet

VARTA Microbattery GmbH, Ellwangen

17. Oktober 2012

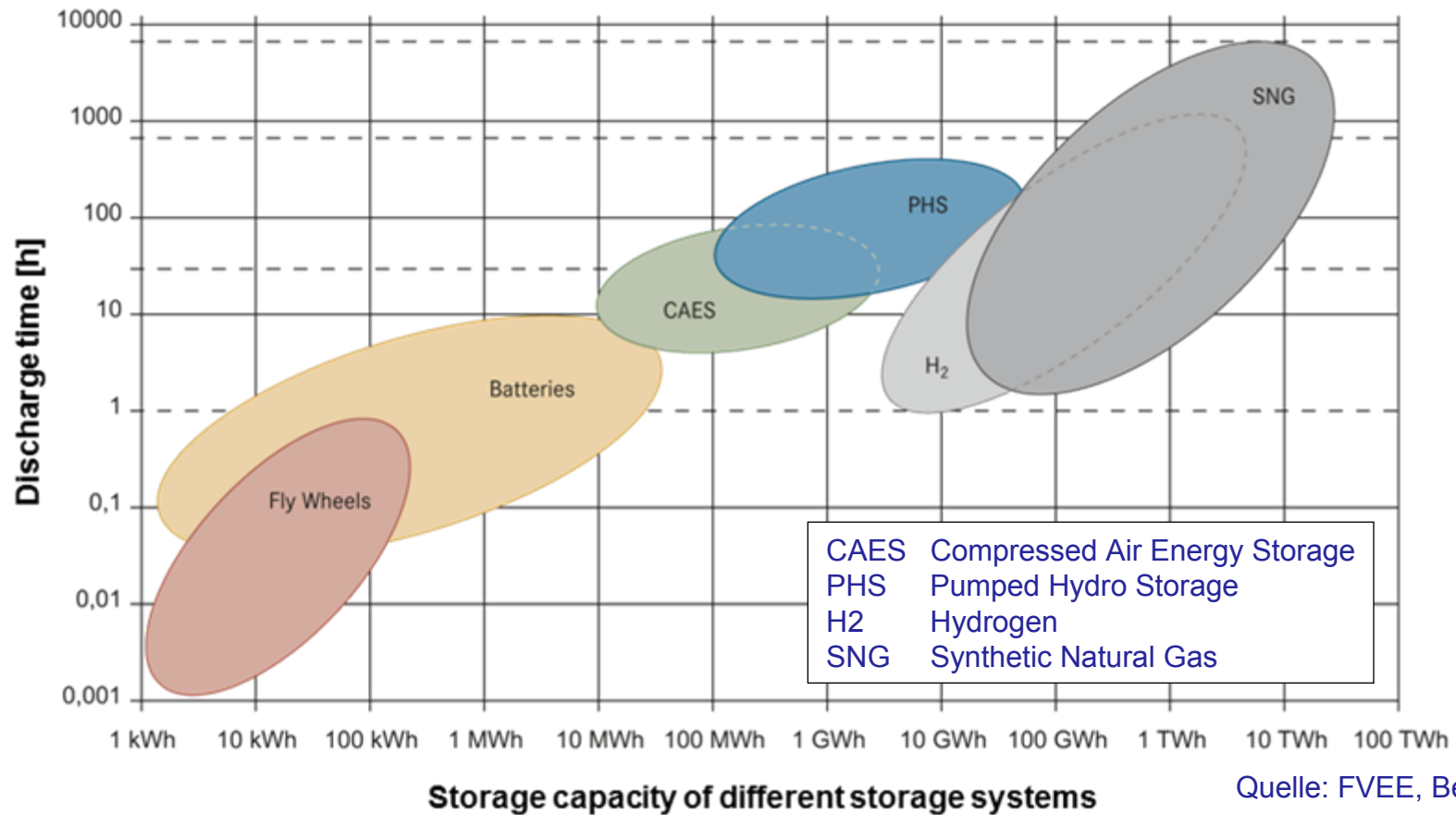
Umweltforum, Berlin

# Inhalt

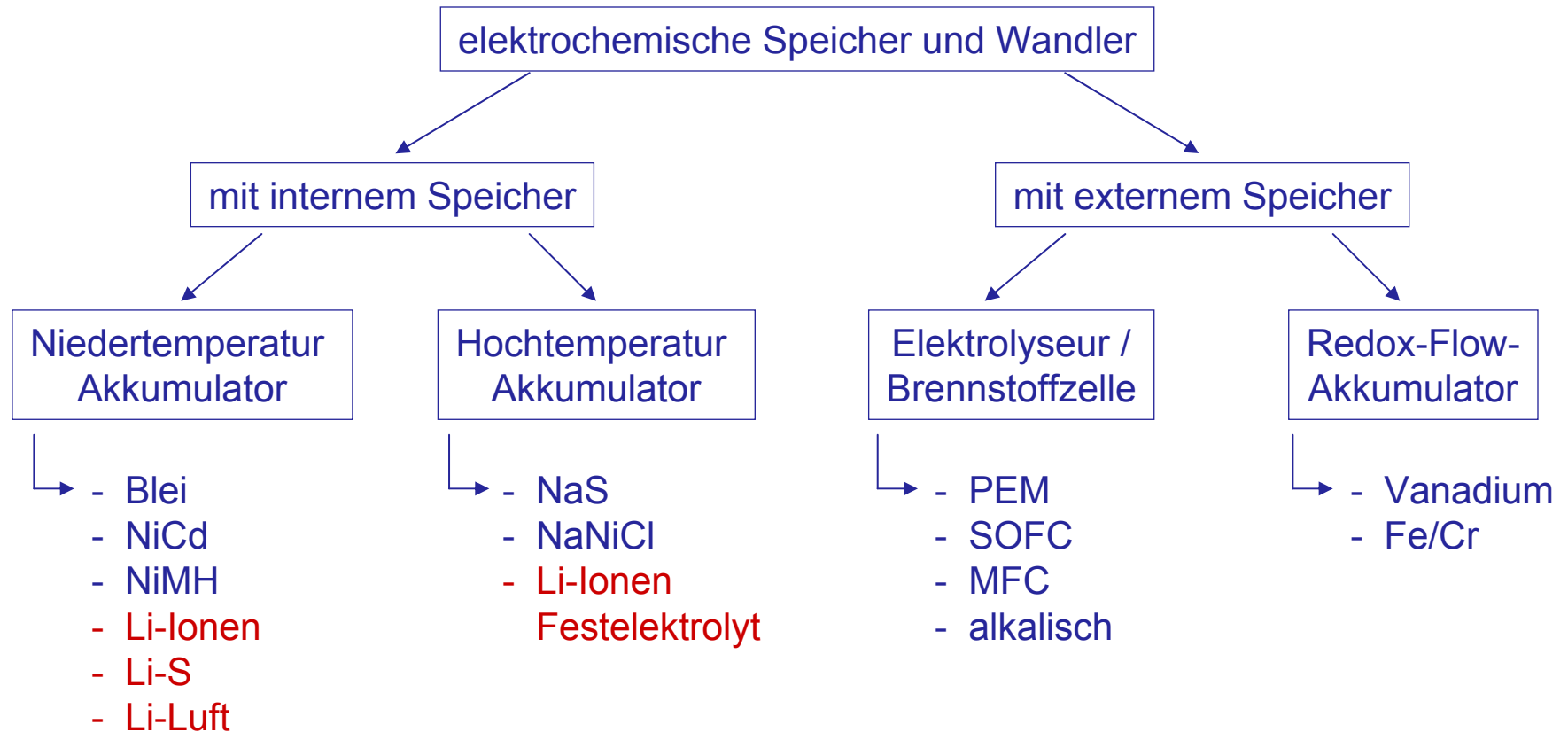
1. Übersicht stationäre elektrochemische Speichertechnologien
2. Forschung und Entwicklung zu stationären Batterietechnologien
3. Forschung und Entwicklung zu stationären Batteriesystemen

# 1. Stationäre elektrochemische Speichertechnologien

## Kurz- und Langfristspeicher

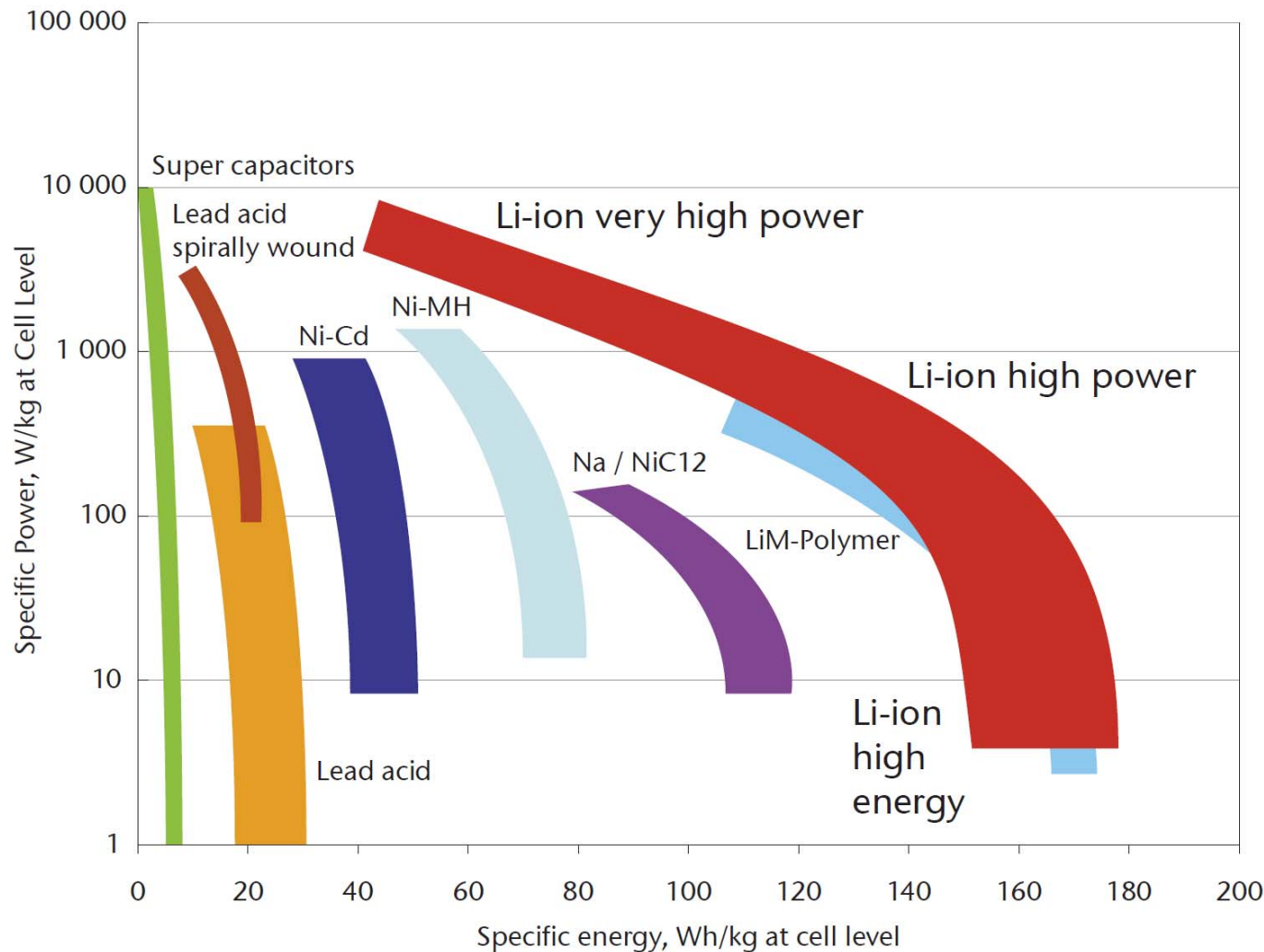


# 1. Stationäre elektrochemische Speichertechnologien Übersicht



# 1. Stationäre elektrochemische Speichertechnologien

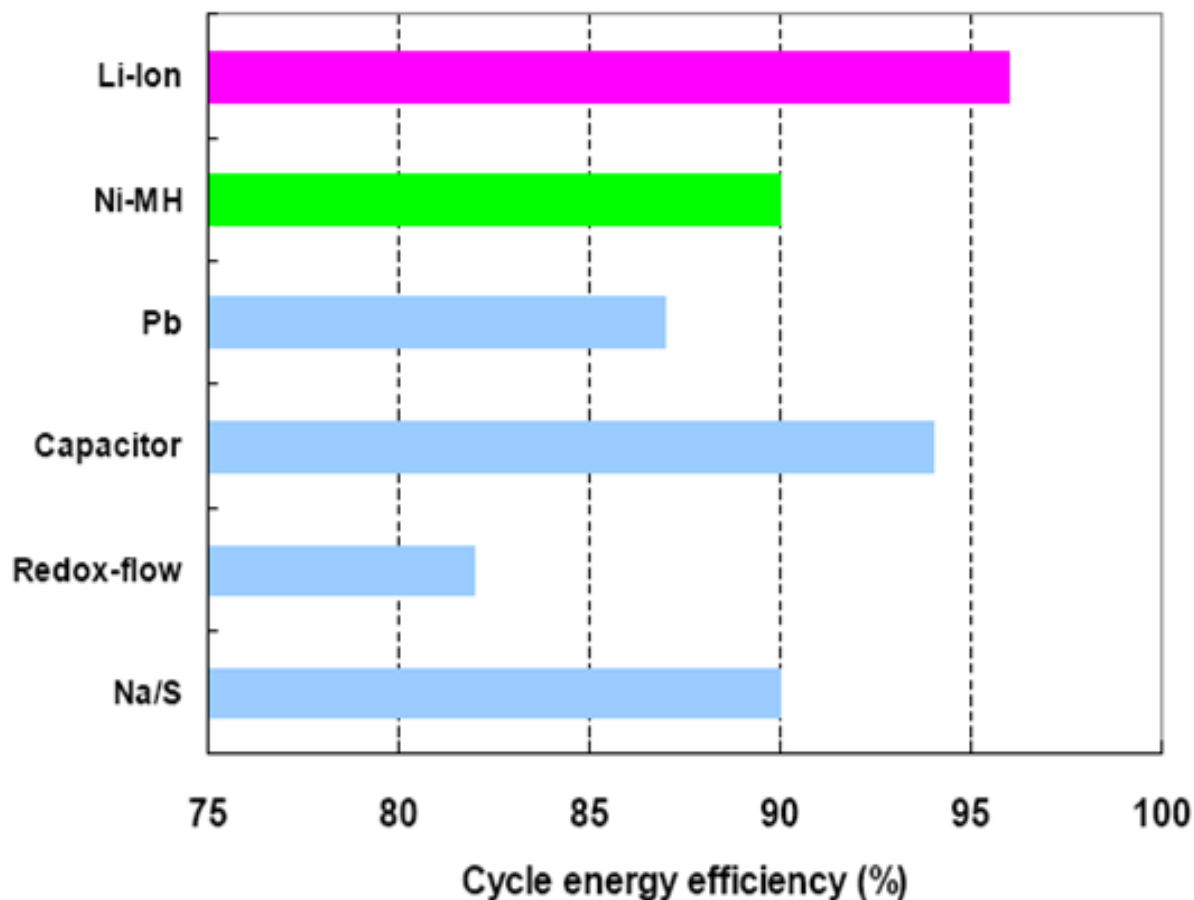
## Energie- und Leistungsdichte



Quelle: IEA Technology Roadmap Electric and plug-in hybrid electric vehicles 2011, Johnson Control - Saft 2005 and 2007

# 1. Stationäre elektrochemische Speichertechnologien

## Energiewirkungsgrad



# 1. Stationäre elektrochemische Speichertechnologien

## Vorteile und Anforderungen

### Vorteile elektrochemischer Speichersysteme

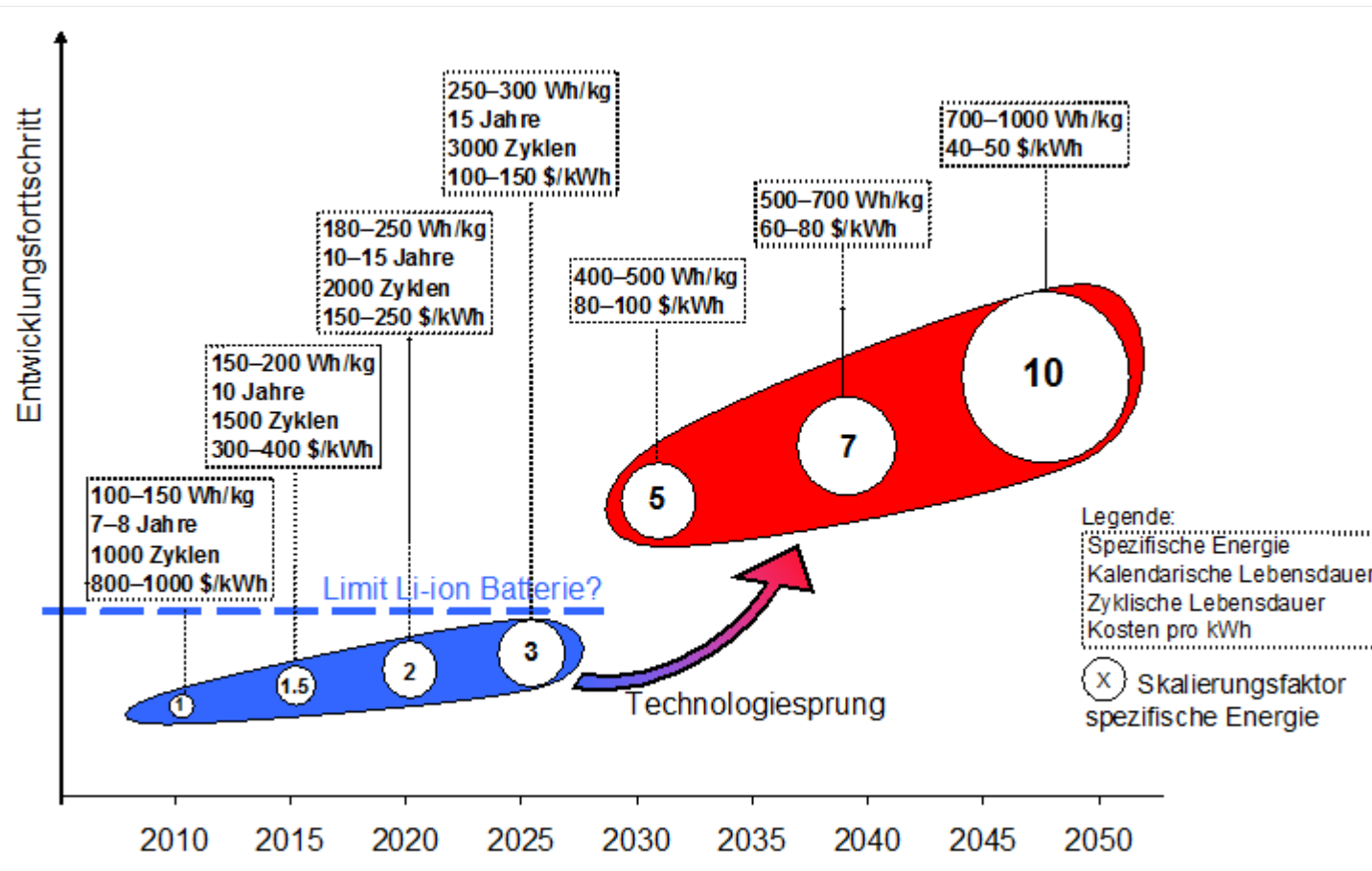
- Unabhängig von Geographie und Geologie
- Modulares Design
- Speichergröße adaptierbar
- Geringe Variation der Kosten mit der Speichergröße
- Kurze Abschreibungszeiträume, geringeres wirtschaftliches Risiko bei Änderung des Marktumfelds

### Anforderungen

- Geringe Kosten (Investitions- und Betriebskosten)
- Hohe Energiedichte
- Sehr hoher energetischer Wirkungsgrad
- Lange Lebensdauer (15-20 Jahre)
- Hohe Sicherheit
- Verfügbare Materialien
- Zuverlässigkeit
- Leistungsdichte niedrig bis mittelhoch
- Niedrige Selbstentladung

## 2. Forschung und Entwicklung zu stationären Batterien

### Entwicklungsziele – Batterie Roadmap 2020+



Quelle: Schott, B., Günther C., Jossen A., Danzer M., Batterie-Roadmap 2020+, ZSW-Studie, April 2010

Daten: METI, 2006, 2008; NEDO, 2009, FreedomCAR & USABC, 2006; Howell et al., 2009; USABC, 2010; USCAR, 2010; EC/EPoSS/ERTRAC, 2009; ERTRAC/EPoSS, 2009; EUCAR & CLEPA, 2009; GCI, 2009; Meyer, 2009; IEA, 2009



## 2. Forschung und Entwicklung zu stationären Batterien

### Entwicklungsziel Energiedichte

#### Energiedichte von Akkumulatoren

$$E = C \cdot U$$



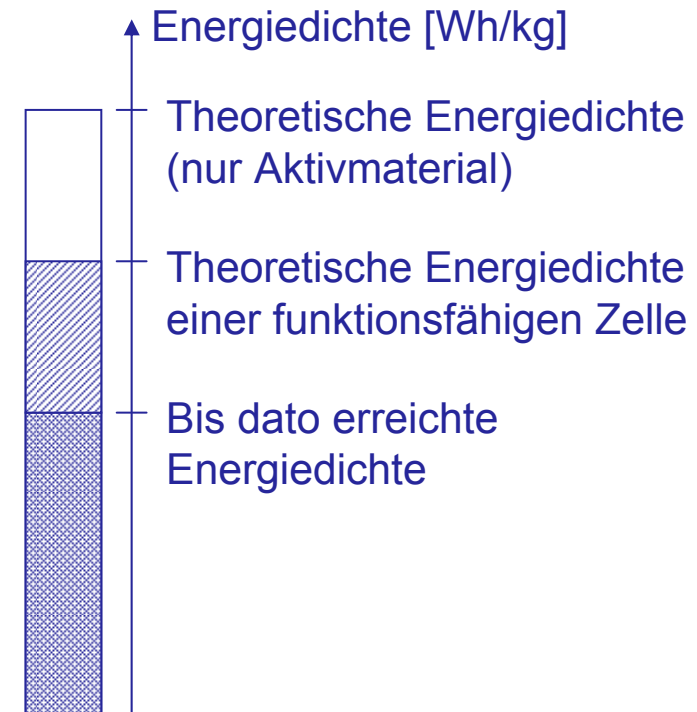
#### Erhöhung der Energiedichte

##### 1. Verhältnis aktiver zu inaktiver Masse erhöhen

- Ausnutzung von Aktivmaterial
- Balancierung von Elektroden
- Reduktion inaktiver Massen (z.B. Gehäuse, Ableiter, Stromkollektor)

##### 2. Zellspannung erhöhen

##### 3. Spezifische Kapazität erhöhen



## 2. Forschung und Entwicklung zu stationären Batterien

### Lithium-Ionen-Batterien am ZSW

Projekt	Anode	Kathode	Entwicklungsziele (Auszug)
EuroLiion (EU FP7)	Silizium-Kohlenstoff-Komposit	$\text{LiNi}_{0,5}\text{Mn}_{1,5}\text{O}_4$ Hochvoltspinell	Energiedichte: > 200 Wh/kg Leistungsdichte: > 400 W/kg Kosteneffektivität: < 150 €/kWh
APPLES (EU FP7)	Zinn-Kohlenstoff-Komposit	$\text{LiNi}_{0,5}\text{Mn}_{1,5}\text{O}_4$ Hochvoltspinell	Polymerelektrolyt Hohe Energiedichte Verbesserte Performance
Li5 (BMBF)	Graphit	$\text{LiCoPO}_4$ , NMCP	Langzeitstabil höhere Ausnutzung der Aktivmaterialien höhere Energiedichte durch 5V-Chemie
EiSiBatt (BMBF)	$\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$	$\text{LiFePO}_4$	Eigensichere Zelle neue Elektrolytformulierungen: - niedrige Entflammbarkeit - erhöhte Sicherheit unter Überladebedingungen

## 2. Forschung und Entwicklung zu stationären Batterien

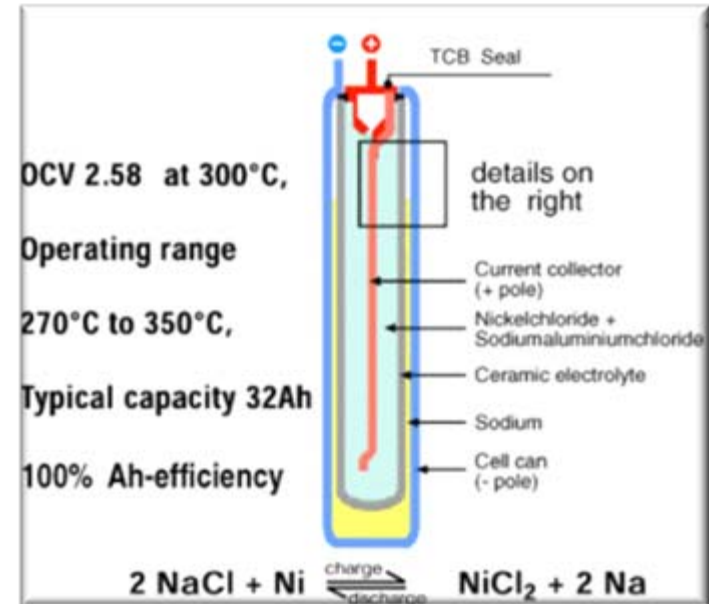
# Lithium-Ionen-Hochtemperatur-Batterie mit Festelektrolyt

### Vorbild: ZEBRA-Batterie

- + Hohe Robustheit und Zuverlässigkeit
- + Hohe Zyklenfestigkeit

### Problematisch:

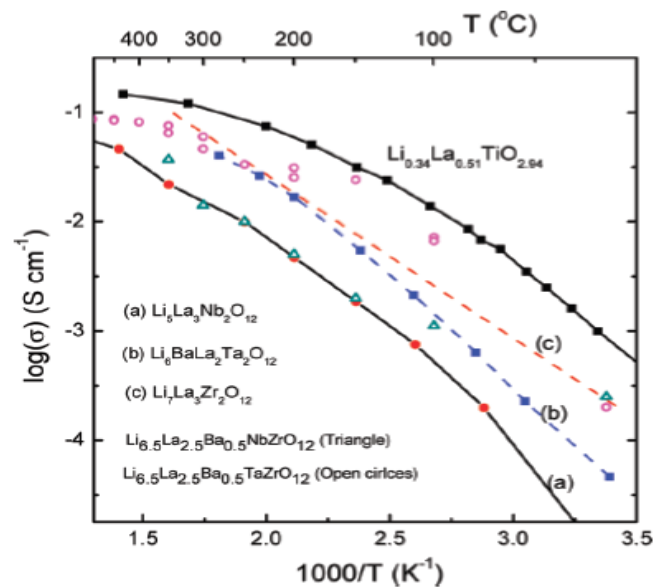
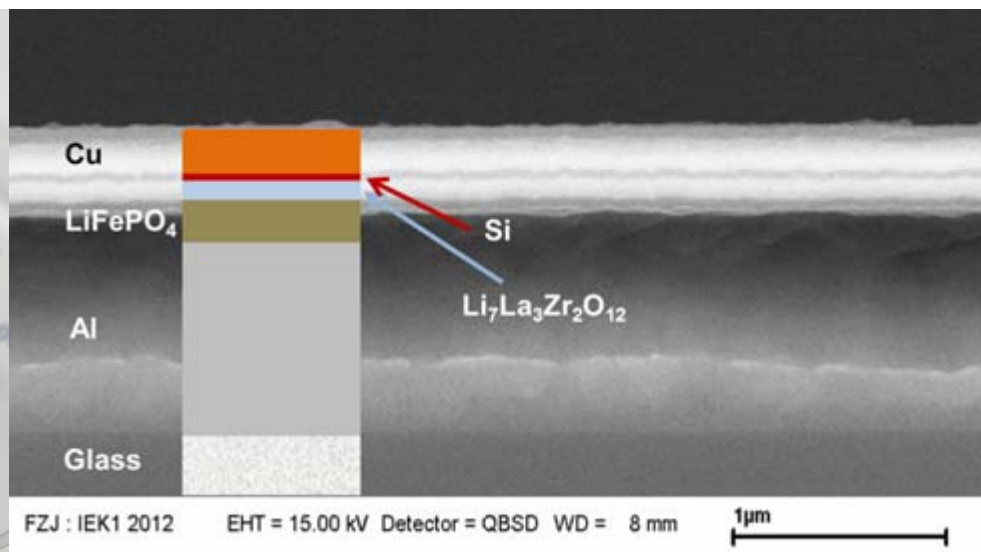
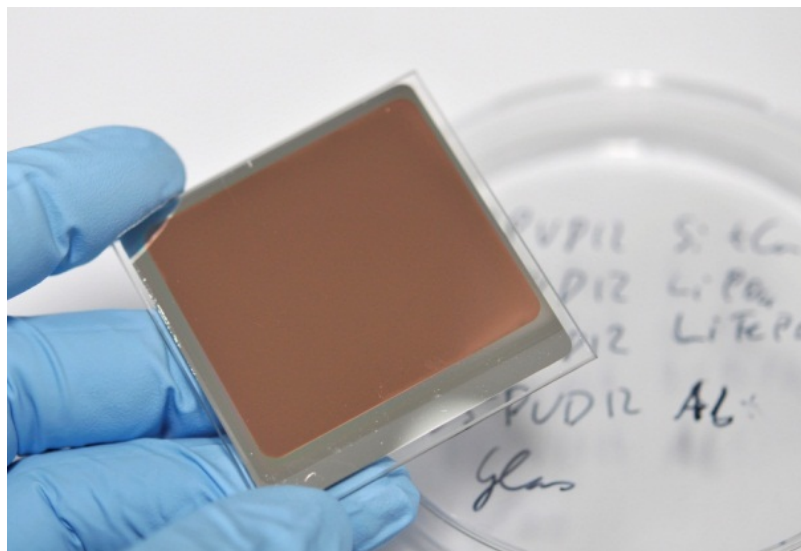
- aufwendige Herstellung des röhrenförmigen Elektrolyten ( $\text{Na-}\beta''\text{-Al}_2\text{O}_3$ )
- Natrium-Gebrauch bei erhöhter Temperatur



C.-H. Dustmann,  
J. Power Sources 127 (2004) 85-92

### F&E - Ziele

- Werkstoffe für intrinsisch sichere Batterien
- Evaluierung bekannter Festkörper-Li-Ionenleiter für Anwendungen im Bereich 100-400 °C
- Günstigere Elektrodenmaterialien
- Dickere Elektroden
- Optimiertes Processing
- Angepasste Elektrolyte
- Größere Zellen

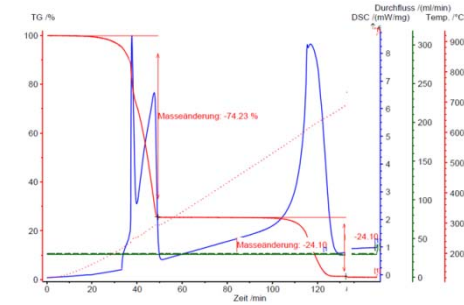
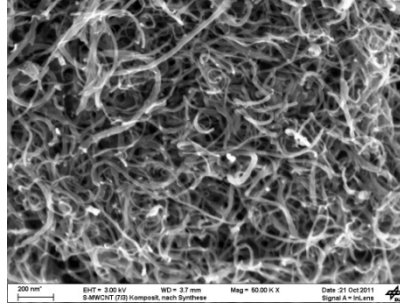
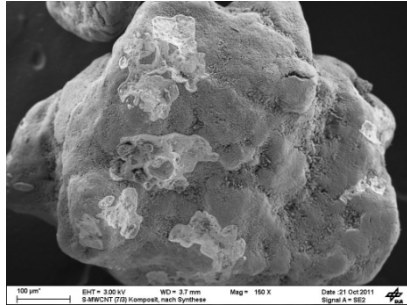


A. Ramsey et al., ACS-AMI Vol.2, No. 2, 385-390, 2010

**Festkörper Batterie mit  
Al und Cu Kontakten,  
LiFePO<sub>4</sub> Kathode,  
Li<sub>7</sub>La<sub>3</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>12</sub> Elektrolyt und  
Si Anode  
= intrinsisch sichere Batterie**

## 2. Forschung und Entwicklung zu stationären Batterien Speicherkapazität und Zyklenstabilität von LiS-Batterien

**Motivation:** Optimierung der Zyklenstabilität durch Schwefel-MWNT-Komposite



**Vorgehen:** Komposit-Synthese via Schwefelschmelze 150°C /Ar-Atmosphäre

Vergleich zweier Typen MWNT „A“ und „B“

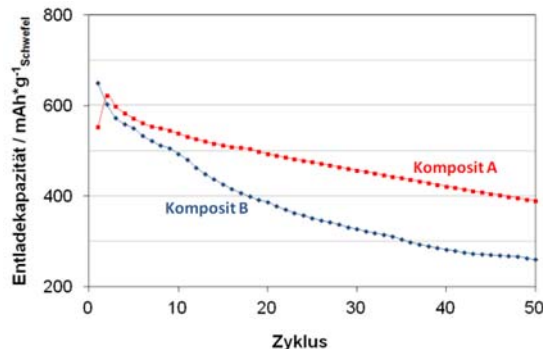
durchschnittliche Porengröße (Hg-Porosimetrie):

MWNT A: 15 nm

MWNT B: 44 nm

Komposit A:  $389 \pm 62 \text{ mAh} \cdot \text{g}^{-1}_{\text{Schwefel}}$

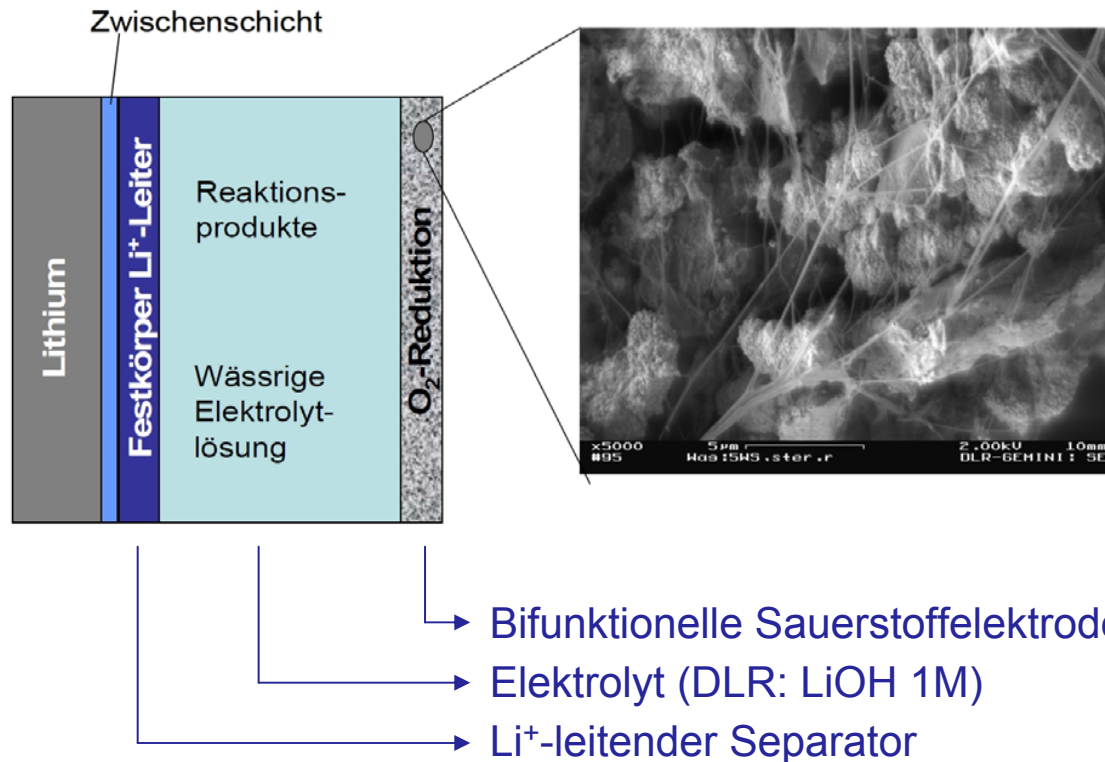
Komposit B:  $260 \pm 38 \text{ mAh} \cdot \text{g}^{-1}_{\text{Schwefel}}$



**Ergebnis:** Aus MWNT A hergestelltes Komposit A verfügte nach 50 Zyklen über eine 50% höhere Entladekapazität im Vergleich zum aus MWNT B hergestellten Komposit B

## 2. Forschung und Entwicklung zu stationären Batterien

### Schematische Darstellung einer Lithium-Luft-Batterie



Reaktionsgleichung für den alkalischen Elektrolyt:

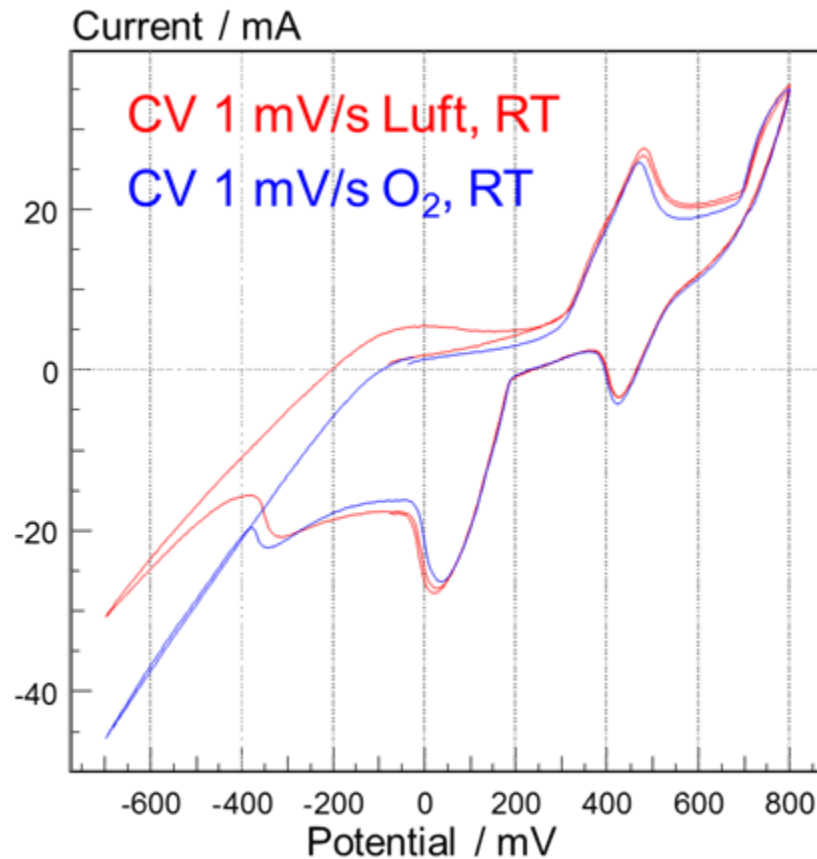




## 2. Forschung und Entwicklung zu stationären Batterien

### Verminderung der Verluste von Lithium-Luft-Batterien

Verluste während des Lade- / Entladevorgangs von Lithium-Luft-Batterien reduziert



Cyclovoltammogramm an  
mit Ag+LSCF (Elektrolytseite)  
und PTFE+Kohle (Gasseite)  
beschichtetes Rhodius-Netz  
in 1 N LiOH,  
Potenzial gegen Hg/HgO

### 3. Forschung und Entwicklung zu stationären Batteriesystemen

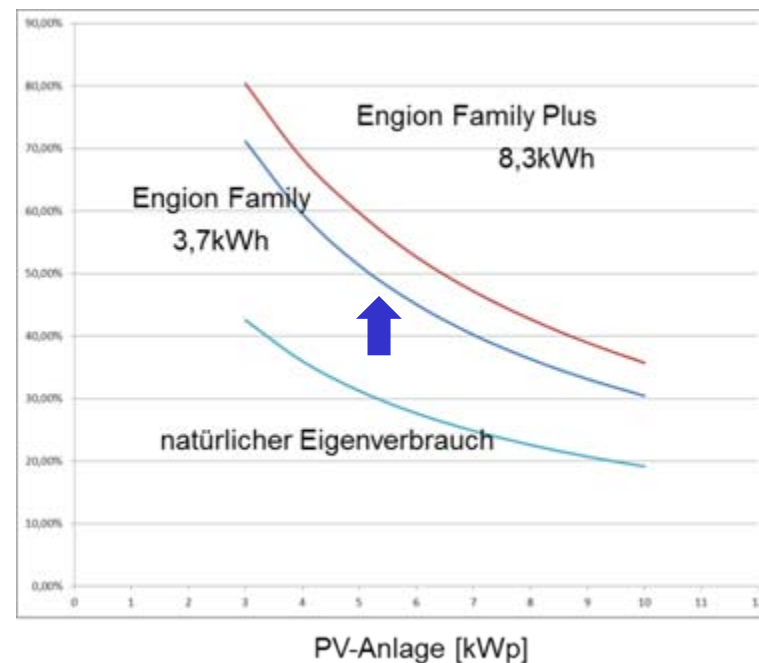
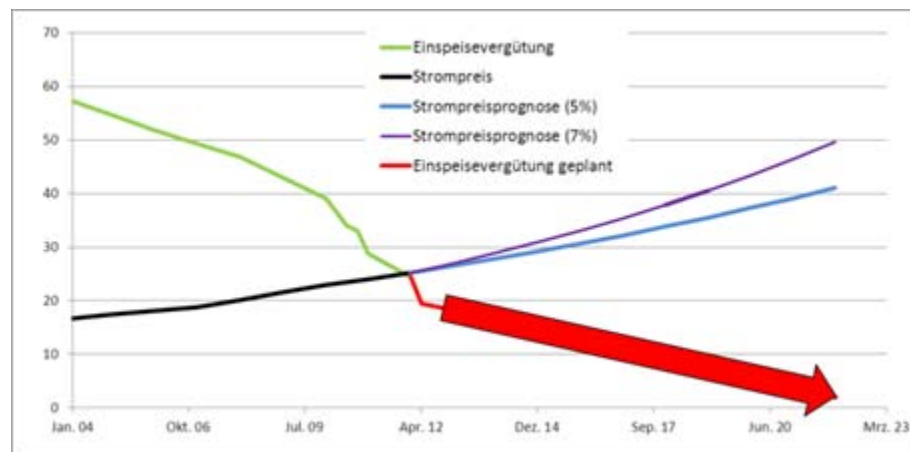
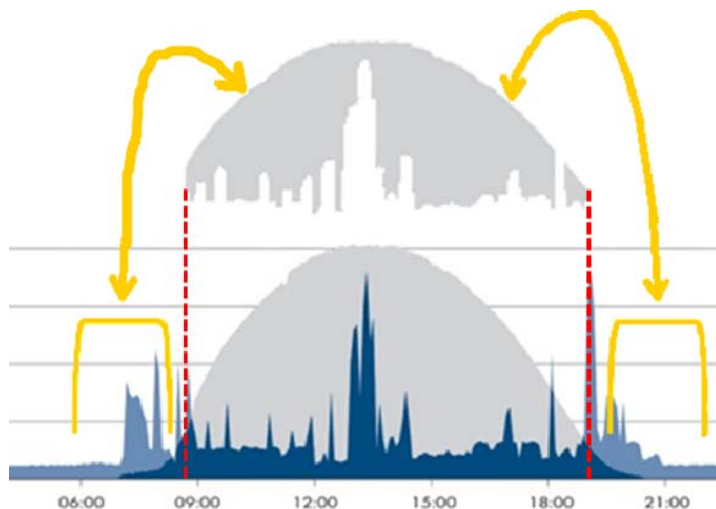
## Anwendungsbeispiele stationärer Batteriesysteme

- Maximierung des Eigenverbrauchs von Solarstrom
- Spannungsstabilisierung im Niederspannungsnetz



### 3. Forschung und Entwicklung zu stationären Batteriesystemen

## Maximierung des Eigenverbrauchs von Solarstrom



**Batteriespeichersysteme erhöhen den Eigenverbrauch**

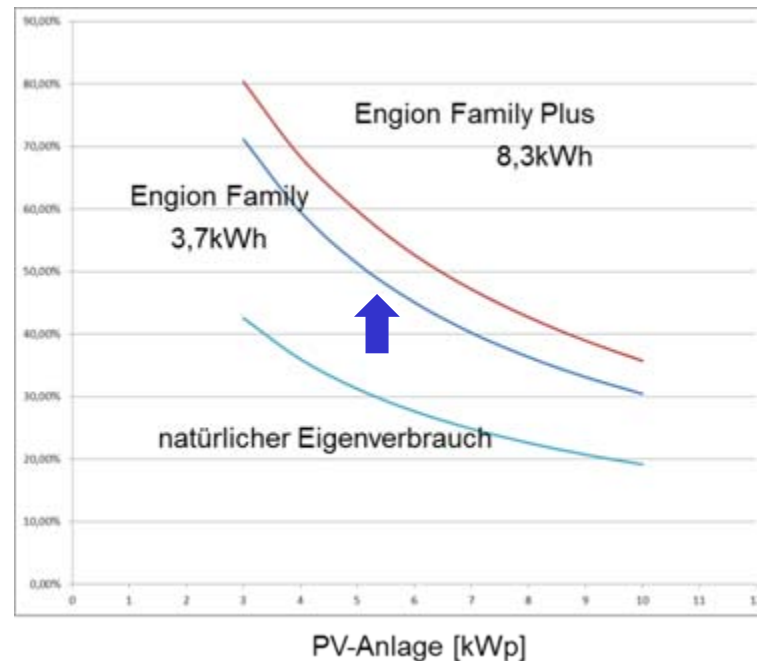
### 3. Forschung und Entwicklung zu stationären Batteriesystemen

## Maximierung des Eigenverbrauchs von Solarstrom



Engion  
bei VARTA Storage

- 4 kW
- 3,7 -13,8 kWh
- 3-phasig
- modular erweiterbar



**Batteriespeichersysteme erhöhen  
den Eigenverbrauch**

## VARTA Storage

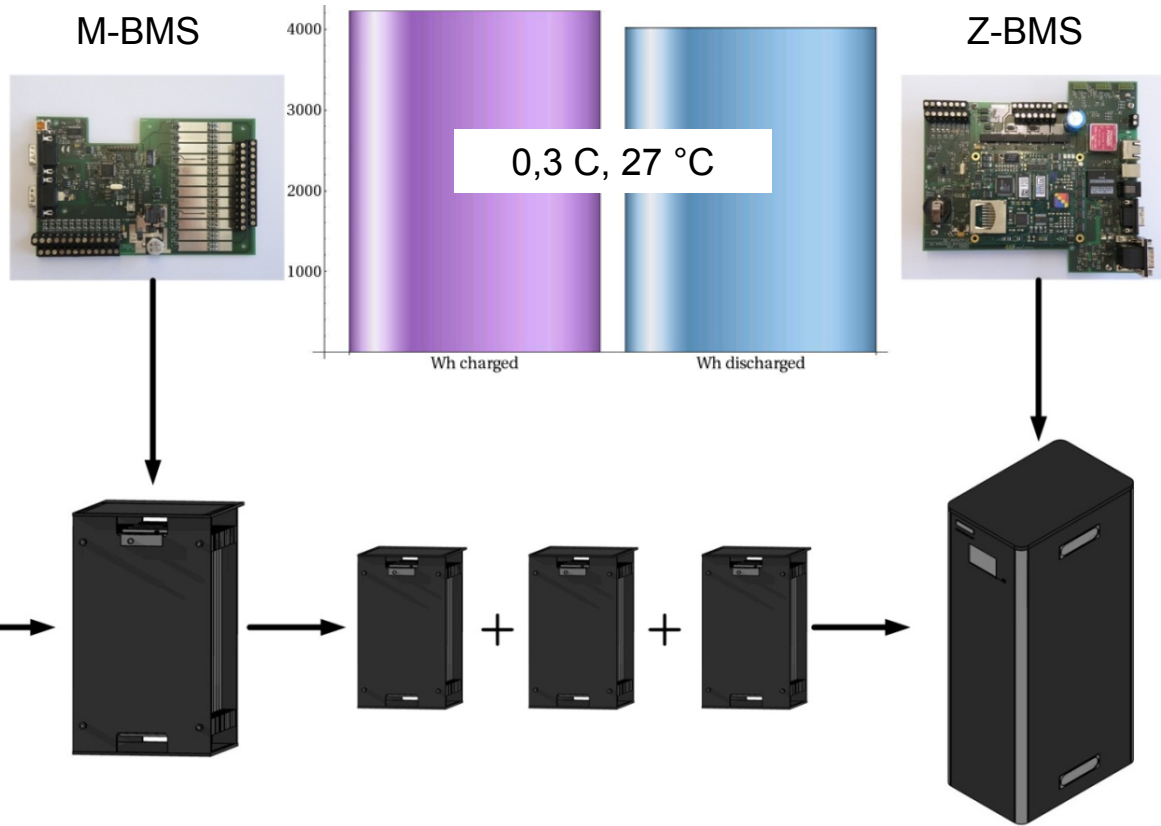
# 3. Forschung und Entwicklung zu stationären Batteriesystemen

## Lithium-Batteriesystem – Design

### Zelle → Modul → System

- Optimiertes Design von Batteriemodulen für die einfache Kombination mit marktverfügbaren Laderegler und Batteriewechselrichtern
- Batteriemanagement mit Kommunikationsschnittstelle

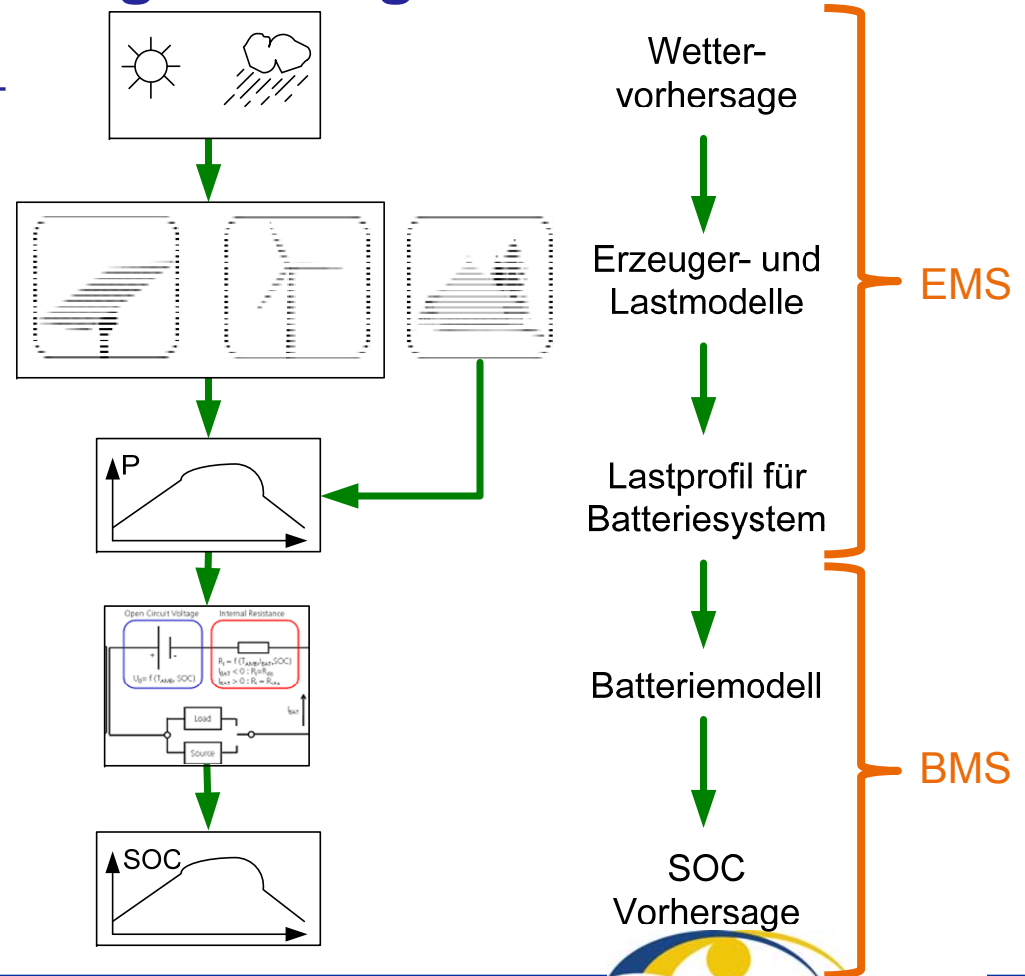
Energetische Wirkungsgrad eines Batteriemoduls 95.2 %



### 3. Forschung und Entwicklung zu stationären Batteriesystemen

## Intelligentes Batteriemanagement als Teil eines optimierten Energiemanagements

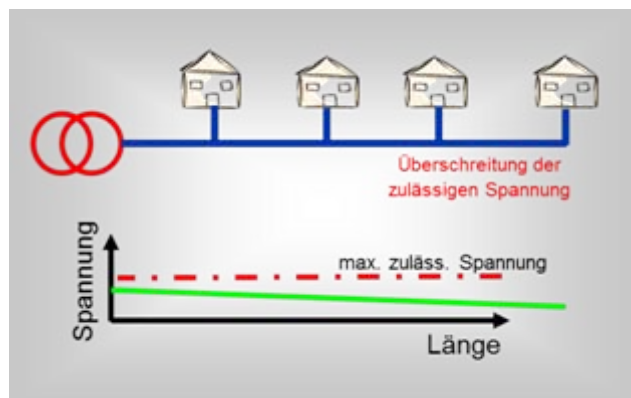
- Kommunikation zwischen Energie- und Batteriemanagement
- Modellbasiertes Energiemanagement
  - Erzeuger- und Lastmanagement
  - Optimierter Einsatz des Batteriesystems
  - Regelung der Energieflüsse
- Modellbasiertes Batteriemanagement
  - SOC-Verlauf und Vorhersage
  - Information über Arbeitspunktabhängige Wirkungsgrade
  - Information über Alterung



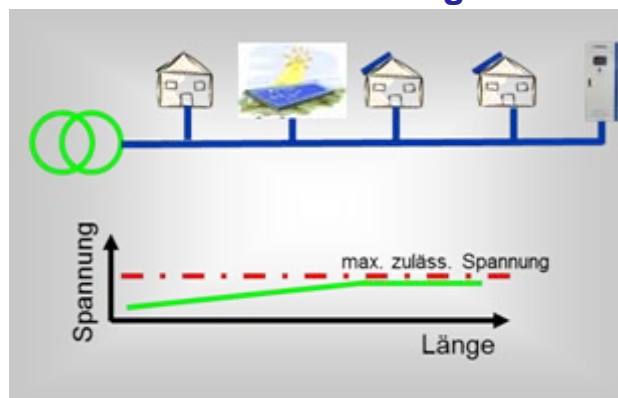
### 3. Forschung und Entwicklung zu stationären Batteriesystemen

## Spannungsstabilisierung im Niederspannungsnetz

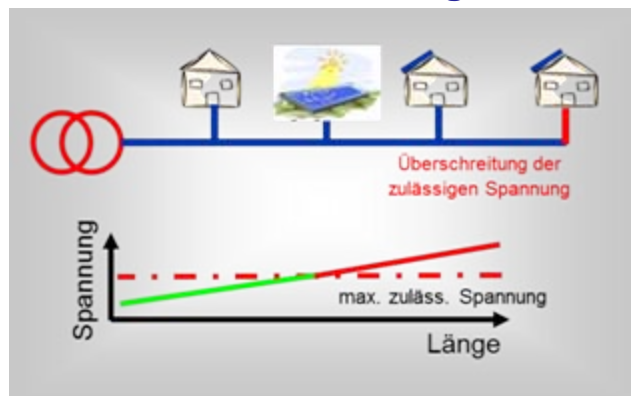
Ohne dezentrale EEG Anlagen



Mit dezentrale EEG Anlagen u. Batterie



Mit dezentrale EEG Anlagen



**Pilotprojekt  
Spitzenspeicher Nr. 1  
VARTA & EnBW ODR**

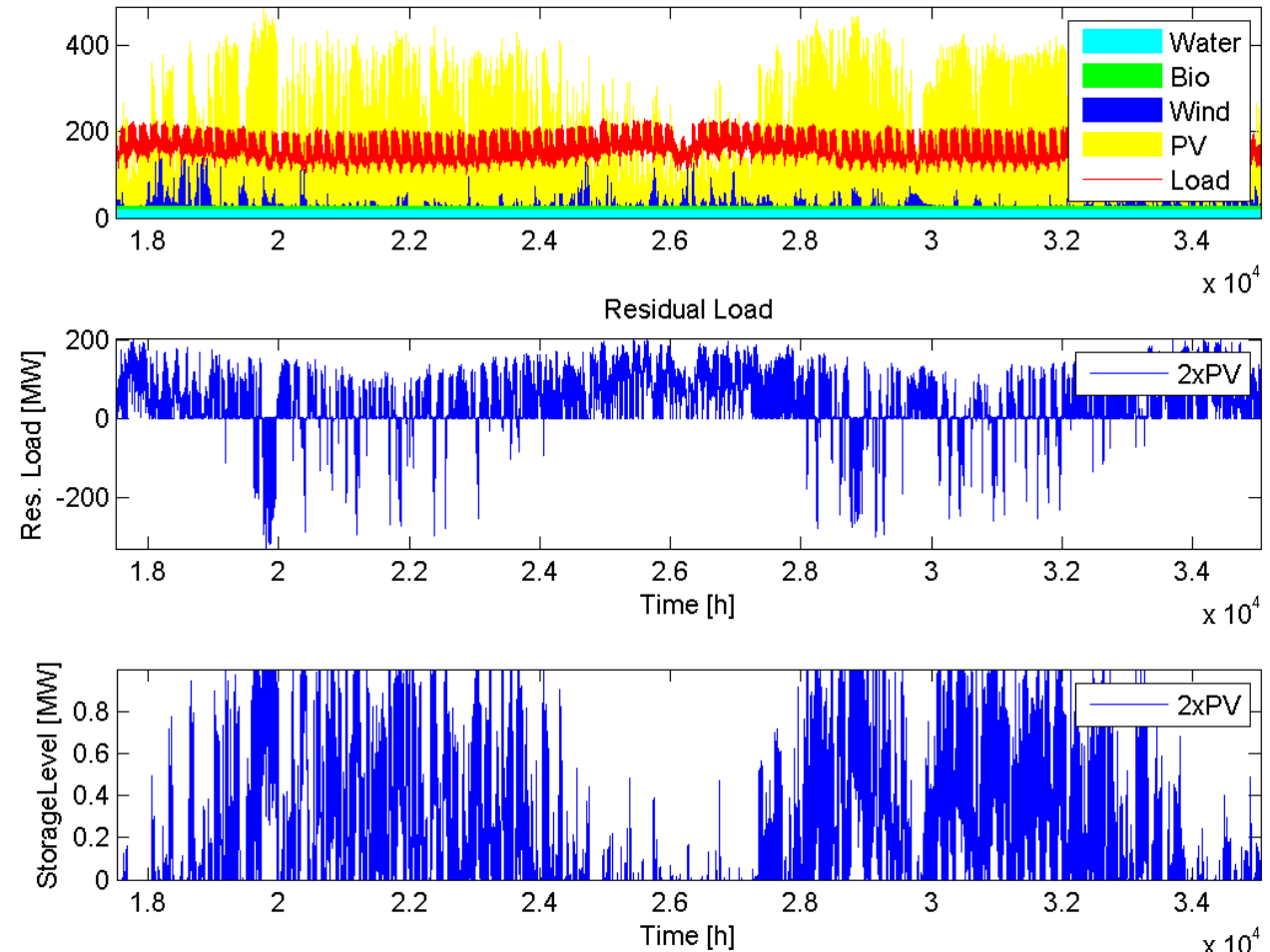
- 30 kW
- 60 kWh

# VARTA Storage

### 3. Forschung und Entwicklung zu stationären Batteriesystemen

## Ladedynamik: Leistungsüber- und -unterdeckung eines 2h-Speichers (1 kWp PV -> 2 kWh Batterie)

Rechnung über mehrere Jahre  
(hier ein Ausschnitt über 2 Jahre)



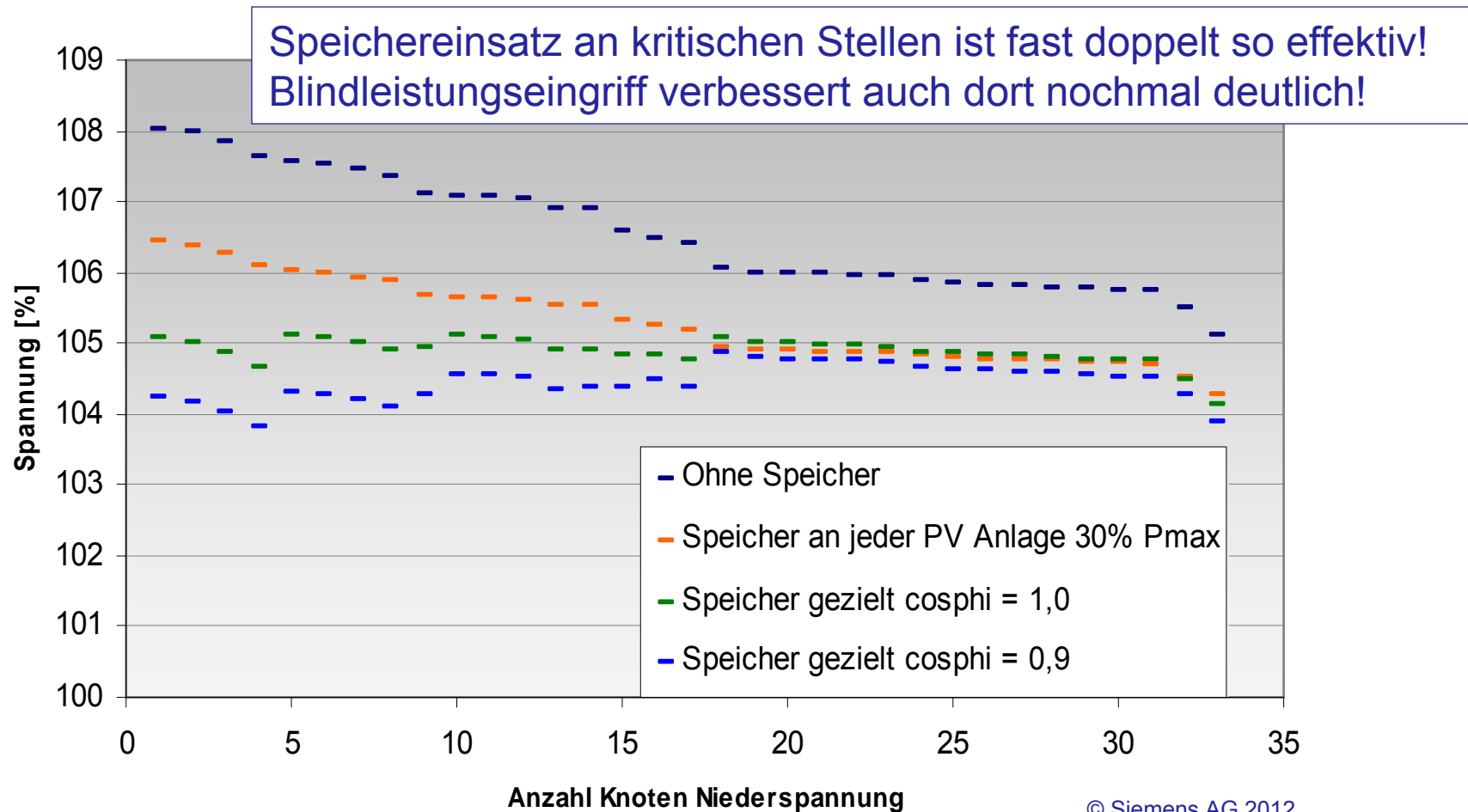
Beachte:  
Schnelle und  
langsame  
Fluktuation im  
Ladezustand des  
Speichers

© Siemens AG 2012



### 3. Forschung und Entwicklung zu stationären Batteriesystemen

## Simulationsergebnisse Spannungsband in einem Beispielnetz



© Siemens AG 2012

### 3. Forschung und Entwicklung zu stationären Batteriesystemen

## Ergebnisse

- Speicher mit Dimensionierung zur Kappung der Leistungsspitze bei 30% helfen die Spannungsproblematik zu beheben.
- Speichereinsatz an kritischem Ort (Quartierspeicher) ist für die Spannungshaltung effektiver als gleichmäßig verteilter Einsatz.
- Blindleistungseingriff am selben Ort hilft zusätzlich.
- Es ist kosteneffizienter größere Anlagen in höheren Spannungsebenen anzukoppeln.  
→ *PV Förderung derzeit anders.*



Auslieferung des Siemens-Lilon-Systems  
im September 2012

© Siemens AG 2012



## Fazit

- Neue und verbesserte Speichertechnologien werden entwickelt und erforscht
  - Geringe Kosten
  - Hohe Energiedichte
  - Hoher energetischer Wirkungsgrad
  - Lange Lebensdauer
  - Hohe Sicherheit
- Geschäftsmodelle für stationäre elektrochemische Speicher kristallisieren sich heraus
- Batteriesysteme und Pilotanlagen werden entwickelt, aufgebaut und erprobt
- Erste Serienprodukte werden kommerziell angeboten

 Eignung elektrochemischer Speicher als Kurzfristspeicher für die Energiewende wird demonstriert

// Energie mit Zukunft

// Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-  
Forschung Baden-Württemberg (ZSW)

**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit**



**Stuttgart:**  
Photovoltaik,  
Energiepolitik und  
Energieträger, Zentrale Dienste



**Widderstall:**  
Solar-Testfeld



**Ulm:**  
Elektrochemische  
Energietechnologien



**Ulm:**  
Labor für  
Batterietechnologie (eLaB)